

氏名	むら の よし たか 室 野 剛 隆
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	論工博第3457号
学位授与の日付	平成11年9月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位論文題目	強震時の非線形動的相互作用を考慮した杭基礎の耐震設計法に関する研究

論文調査委員 (主査)
教授 亀田弘行 教授 土岐憲三 教授 佐藤忠信

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、構造物の建設地点で想定される最大級の地震動（レベル2地震動）に対して、地盤および構造物の非線形挙動を考慮した杭基礎の耐震設計法の開発を目的として行った理論的・実験的研究の結果をまとめたもので、7章からなっている。

第1章は序論であり、まず杭基礎構造物の耐震設計法における課題・土木構造物の耐震設計法の変遷・兵庫県南部地震による教訓に関する見解を示し、続いて入力地震動の評価法・地盤の非線形地震応答特性・地盤の不整形性の影響・杭基礎の動的相互作用に関する既往の研究を整理している。これに基づき、本研究の意義と問題を解決するうえでの課題を明確にし、本論文の各章の位置づけを行っている。

第2章では設計地震動の設定のための、位相特性のモデル化を行っている。位相スペクトルを角振動数軸上で微分した群遅延時間により位相特性を表現することとし、経験的手法および理論的手法により定式化している。まず、既往地震動の平均的な群遅延時間の特性をモデル化し、その平均値と標準偏差をマグニチュードと震央距離という物理パラメータを用いて、各周波数帯域ごとに重回帰分析によりその距離減衰式を作成している。一方、断層近傍の地震を想定した場合に対して、断層の破壊過程を考慮するため、断層破壊過程をインパルス列でモデル化し、地点特性は伝達関数の位相が最小位相推移関数で表されると仮定して、それぞれの群遅延時間を理論的に算定している。最後に、両手法を用いて耐震設計用の地震動を実際に合成し、その有効性を検討している。

第3章では、地盤の増幅特性を対象とし、特に、レベル2地震動における地盤の増幅特性を考えるうえで重要な、地盤の非線形化の影響と不整形性の影響に的を絞って、検討を行っている。まず、土の非線形モデルに関する既往のモデルを修正して、室内試験から得られるひずみ～剛性・減衰性の関係に加え、せん断ひずみの増大によりせん断応力がせん断強度に収束するという破壊強度の条件を満足する新しい応力～ひずみ関係のモデル化を提案している。次に、不整形地盤による地震動の増幅現象として、工学的基盤となる浅層地盤の不整形性の影響を2次元FEMによるシミュレーションによって解析し、その結果に基づき、鉛直下方から伝播される直達波に基盤傾斜部から発生し横方向に伝播する波動の時間後れ分を考慮して加算して、地盤の不整形性の影響を簡便に設計に反映させる方法を提案している。

第4章では、地盤-抗-構造物系の地震応答解析を行い、杭の地震応力の発生要因（外的要因）として慣性力と地盤震動があることを確認するとともに、両者の影響をどのように設計に見込むかを検討している。まず、地盤-基礎の動的相互作用は地盤と構造物の固有周期の大小関係によって影響を受けることから、地盤と構造物の固有周期比をパラメトリックに変化させた解析を行い、地盤変位と慣性力の位相差を解明している。また、レベル2地震動のもとで、地盤と構造物部材がともに非線形化することを前提として、地盤ばね、構造部材に非線形性を取り入れた地震応答解析を行い、非線形領域での慣性力と地盤変位の作用について検討を行っている。

第5章では、第4章の内容を実験的に検討している。まず、線形範囲での基本的な性状を把握することを目的に、地盤をシリコン、杭をテフロンで作成した小型杭基礎モデルの振動実験を行い、地盤震動と慣性力の位相差の特性を明らかにし、次に、大型せん断土槽を用いた地盤-基礎系の振動実験から得られた観測波形の相互相関関数から各応答の時間遅れ構造を調

ることにより、杭応力発生に関わる地盤震動と慣性力の影響について検討している。さらに、離散系多質点系モデルを用いたシミュレーションを行っている。

第6章では、第4章と第5章の検討結果を基に、慣性力と地盤変位の荷重の組合せ方法を提案し、この方法を用いて、杭の応力を算定して、動的解析の結果と比較することにより、提案法の妥当性の検証を行っている。さらに、本研究で得られた知見を総合して、杭基礎の耐震設計法として、非線形動的相互作用を考慮した応答変位法の提案を行っている。

第7章では、本論文により得られた結論ならびに知見をまとめるとともに、今後の研究課題について述べている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、構造物の建設地点で想定される最大級の地震動（レベル2地震動）に対して、地盤および構造物の非線形挙動を考慮した杭基礎の耐震設計法を開発することを目的として行った研究をとりまとめたもので、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 設計地震動の設定に必要な諸量のうち、地震動の非正常特性を支配する位相特性のモデル化を行った。強震観測記録を用いて、周波数帯域ごとの群遅延時間の平均値と標準偏差をマグニチュードと震央距離の関数で表現するとともに、その妥当性を理論的考察とシミュレーション手法により検証した。

2. レベル2地震動で考慮する地盤の非線形挙動を表す土の非線形モデルを提案した。特に、実験から得られる動的変形特性を満足し、せん断ひずみの増大とともにせん断応力がせん断強度に収束するという破壊強度の概念を満たすモデルを開発した。その妥当性を、大型せん断土槽実験とシミュレーションにより検証した。

3. 設計用地震動に対する地盤の不整形性の影響を、基盤からの直達波と地盤傾斜部で生成される水平方向の伝播波の重ね合わせと考え、2次元FEM解析の結果を用いてモデル化した。さらに、1次元地盤震動解析結果に不整形性の影響を簡易に取り入れる方法を示した。

4. 地盤-杭-構造物系の地震応答解析を行い、杭に発生する地震時応力が構造物の振動による慣性力および地盤震動による地盤の変形により影響されることを確認し、両者の発生機構の違いによる位相差と、杭頭付近モーメントと地中部モーメントの最大値発生時間差の定量的な評価法を示し、さらに振動台実験によりその妥当性を検証した。

5. 以上の結果を総合して、杭基礎の耐震設計において、地盤変位を主体とする設計と慣性力を主体とする設計の2段階設計法を提案し、両者の組み合わせ方法を示した。この方法を非線形動的応答解析の結果と比較して、その妥当性を確かめた。

以上を要するに、本論文は、入念な理論と実験に基づき、地盤と構造物の非線形挙動を考慮した杭基礎の耐震設計法を開発を行ったものであり、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成11年8月9日、論文内容とそれに関連した試問を行った結果、合格と認めた。